

## Propagazione nelle Microcelle

La formula di Okumura-Hata fornisce l'attenuazione complessiva di un collegamento, definita come il rapporto tra la potenza trasmessa e la potenza ricevuta, e solitamente è espressa in decibel.

$$L = \frac{P_T}{P_R} \longrightarrow 10\log_{10} L = 10\log_{10} P_T - 10\log_{10} P_R \longrightarrow L_{dB} = P_{T,dB} - P_{R,dB}$$

Decibel: comodi per misurare rapporti, ma utilizzati anche per rappresentare grandezze (ad esempio, la potenza al trasmettitore o la potenza al ricevitore).

Il decibel è un numero adimensionale che esprime in forma logaritmica il rapporto del livello di due grandezze fisiche della stessa natura.

Grandezza espressa in dBm: è il rapporto, in dB, fra la potenza di interesse e la potenza di riferimento di 1 mW.

Per esempio una potenza di 40 dBm significa una potenza 40 dB sopra un mW: la potenza in questione è quindi pari a 10W.

## Propagazione nelle Microcelle

Per le grandezze elettriche potenza, corrente e tensione si ha:

$$dB \equiv 10 \log_{10} \frac{P_2}{P_1} \quad (\text{Potenza})$$

$$dB \equiv 20 \log_{10} \frac{i_2}{i_1} \quad (\text{Corrente})$$

$$dB \equiv 20 \log_{10} \frac{v_2}{v_1} \quad (\text{Tensione})$$

Per le potenze solitamente si utilizzano i dBμW (dB relativi a 1 μW) e i dBmW (dB relativi a 1 mW); i dBmW di solito vengono indicati con il simbolo dBm. Le relative definizioni sono:

$$dB\mu W \equiv 10 \log_{10} \left( \frac{Watt}{1\mu W} \right)$$

$$dBm \equiv 10 \log_{10} \left( \frac{Watt}{1mW} \right)$$

# Propagazione nelle Microcelle

Esempio:

$$250mW = 250000\mu W = 53.98dB\mu W = 23.98dBm$$

Trasformare le potenze di 10 è molto semplice: basta moltiplicare l'esponente, sia esso positivo o negativo, per 20 nel caso di tensioni, correnti, campi elettrici e magnetici e per 10 nel caso di potenze.

Se il rapporto tra due numeri è uguale a 2, esso corrisponde a circa 6 dB nel caso in cui i termini del rapporto siano tensioni, oppure a circa 3 dB nel caso in cui si tratti di un rapporto tra potenze.

In modo analogo un rapporto che valga 3 equivale a circa 10 dB nel caso di tensioni o correnti e a 5 dB nel caso di potenze.

## Conversione in dB di alcuni numeri di uso comune

Fattore	V o I (dB)	P (dB)
$10^6$	120	60
$10^5$	100	50
$10^4$	80	40
$10^3$	60	30
$10^2$	40	20
10	20	10
9	19.08	9.54
8	18.06	9.03
7	16.09	8.45
6	15.56	7.78
5	13.98	6.99
4	12.04	6.02
3	9.54	4.77
2	6.02	3.01
1	0	0
$10^{-1}$	-20	-10
$10^{-2}$	-40	-20
$10^{-3}$	-60	-30

## Propagazione nelle Microcelle

Per convertire una grandezza assegnata in dB nel suo valore assoluto occorre utilizzare la definizione di logaritmo in base m di un numero a:

$$\log_m a = n \quad \Leftrightarrow \quad m^n = a$$

Utilizzando la formula precedente si può ricavare quindi, a partire dal valore dato in dB, il corrispondente valore assoluto della grandezza in esame.

Per esempio, il valore di 108 dB $\mu$ A corrisponde a:

$$108dB\mu A = 20\log_{10}(A/10^{-6})$$

Il valore assoluto A di tale corrente è allora:

$$\frac{A}{10^{-6}} = 10^{\frac{108dB\mu A}{20}} \quad \rightarrow \quad A = 10^{-6} * 10^{\frac{108dB\mu A}{20}} = 0.2512[A]$$

## Propagazione nelle Microcelle

Le operazioni da compiere per ottenere la conversione desiderata sono:

- 1) Dividere per 20 le correnti, le tensioni, i campi elettrici e i campi magnetici, per 10 le potenze
- 2) Elevare la base 10 al risultato ottenuto nel punto 1
- 3) Moltiplicare il risultato per  $10^{-6}$  nel caso di  $\text{dB}\mu\text{A}/\text{m}$  o di  $\text{dB}\mu\text{W}$  e per  $10^{-3}$  nel caso di  $\text{dBmA}/\text{m}$  o  $\text{dBm}$

Ad esempio un'intensità di campo elettrico pari a  $44 \text{ dB}\mu\text{V}/\text{m}$  è pari a :

$$10^{\frac{44 \text{ dB}\mu\text{V} / \text{m}}{20}} * 10^{-6} = 0.00015849 [\text{V} / \text{m}] = 158.49 [\mu\text{V} / \text{m}]$$

# Propagazione nelle Microcelle

Esempio di pianificazione:

## SISTEMA CELLULARE CON MACRO-CELLE

Banda : 30 KHz                      Frequenza: 900MHz                      Raggio cella : 5Km

SRB: 30 m dal suolo      Mobile: 1.5 m dal suolo

Sistema a modulazione di frequenza:  $SNR > 10 \text{ dB}$

Determiniamo la potenza minima necessaria in trasmissione.

Il segnale trasmesso subisce una attenuazione di tratta, e la potenza che arriva al ricevitore deve essere maggiore del rumore di almeno 10 dB perché la qualità del servizio sia buona.

Valutiamo quindi i contributi di rumore e di attenuazione di tratta del sistema in esame per determinare la potenza minima in trasmissione.

# Propagazione nelle Microcelle

Rumore in ricezione:

Densità spettrale di potenza rumore termico AWGN (temperatura ambiente):

$$K * T = 4 * 10^{-18} \frac{mW}{Hz}$$

Potenza rumore termico all'ingresso del ricevitore :

$$\begin{aligned} N_{th} &= Banda \cdot (K * T) = 30KHz \cdot \left( 4 * 10^{-18} \frac{mW}{Hz} \right) = \frac{30 \cdot 10^3 \cdot 4}{10^{18}} mW = 1.2 \cdot 10^{-13} mW = \\ &= \left( 10 \cdot \log_{10} \frac{1.2 \cdot 10^{-13} mW}{1mW} \right) dBm = 0.792 dBm - 130 dBm = -129.2 dBm \end{aligned}$$



# Propagazione nelle Microcelle

Rumore in ricezione:

Rumore presente nell'ambiente esterno:  $N_A = 2-3 \text{ dB}$

Cifra di rumore aggiunta dal ricevitore:  $N_F = 2-3 \text{ dB}$

Il rumore complessivo al detector, in uscita allo stadio ricevente è quindi:

$$N_{TOT} = N_{th} + N_A + N_F = -129.2 \text{ dBm} + 3 \text{ dB} + 3 \text{ dB} = -123.2 \text{ dBm}$$

SNR richiesto  $> 10 \text{ dB}$ : il segnale trasmesso deve avere una potenza almeno pari a

$$P_T = N_{TOT} + 10 \text{ dB} = -123.2 \text{ dBm} + 10 \text{ dB} = -113.2 \text{ dBm}$$

# Propagazione nelle Microcelle

## Attenuazione di tratta:

La formula di Okumura-Hata, per una cella di 5 Km di raggio, RBS a 30 m e terminale mobile a 1.5 metri dal suolo fornisce una attenuazione mediana pari a:

$$L_{dB} = 69.55 + 26.16 \log_{10} f_M - 13.82 \log_{10} h_{BS} - a(h_m) + (44.9 - 6.55 \log h_{BS}) \cdot \log_{10} R_K$$

$$\begin{aligned} L_{OKUM-HATA} &= 69.55 + 26.16 * \log_{10} 900 - 13.82 * \log_{10} 30 - 0 + \\ &+ (44.9 - 6.55 \log_{10} 30) \cdot \log_{10} 5 = \\ &= 69.55 + 77.3 - 20.4 - 0 + 24.6 = 151 dB \end{aligned}$$

# Propagazione nelle Microcelle

Attenuazione di tratta:

Supponendo di utilizzare per il collegamento dei dipoli standard, che hanno circa 2.2 dB di direttività devo sottrarre questi guadagni all'attenuazione, quindi:

$$L = L_{OKUM-HATA} - G_{TX} - G_{RX} = 151dB - 2.2dB - 2.2dB = 146.6dB$$

La potenza minima necessaria a garantire il funzionamento del sistema è quindi:

$$P_T = -113.2dBm + L = -113.2dBm + 146.6dB = 33.4dBm = 10^{\frac{33.4}{10}} mW = 2.187W$$

## Propagazione nelle Microcelle

La potenza ottenuta è ragionevole su un terminale utente e sulla stazione radiobase.

Nella RBS il generatore di potenza è però distante dall'antenna, di solito si trova a terra, mentre l'antenna è posta su un palo (nel nostro caso a 30 m di altezza). Dovrò quindi aggiungere l'attenuazione introdotta dal cavo che collega il trasmettitore all'antenna trasmittente, che tipicamente è di 3 dB.

Non sono fin qui stati considerati il fading lento e quello veloce, che possono ridurre la potenza del segnale ricevuto fino a 10-20 dB.

Per contrastare il fading si può:

- Ridurre la dimensione della cella (e quindi l'attenuazione di tratta)
- Aumentare la potenza in trasmissione della RBS (i trasmettitori GSM di solito trasmettono fino a 7-10 W)
- Aumentare il guadagno dell'antenna della RBS, utilizzando un'antenna che illumini una zona ridotta sul piano verticale

## **Propagazione nelle Microcelle**

Si cerca sempre di risolvere i problemi agendo sulla SRB, perché si hanno a disposizione più spazio e più potenza trasmissibile.

Inoltre modificare la RBS ha un costo più basso rispetto al costo che comporterebbe una modifica sul terminale mobile

Per migliorare le prestazioni del sistema, quindi:

Downlink: si agisce sulla RBS aumentando la potenza

Uplink: si agisce sulla RBS utilizzando dei sistemi che migliorano il guadagno d'antenna in ricezione

# **Propagazione nelle Microcelle**

## **SISTEMA CELLULARE CON MICRO-CELLE**

L'incremento del numero di utenti, ha portato alla necessità di ridurre la dimensione delle celle per incrementare la capacità del sistema (raggio della cella in aree urbane inferiore al Km).

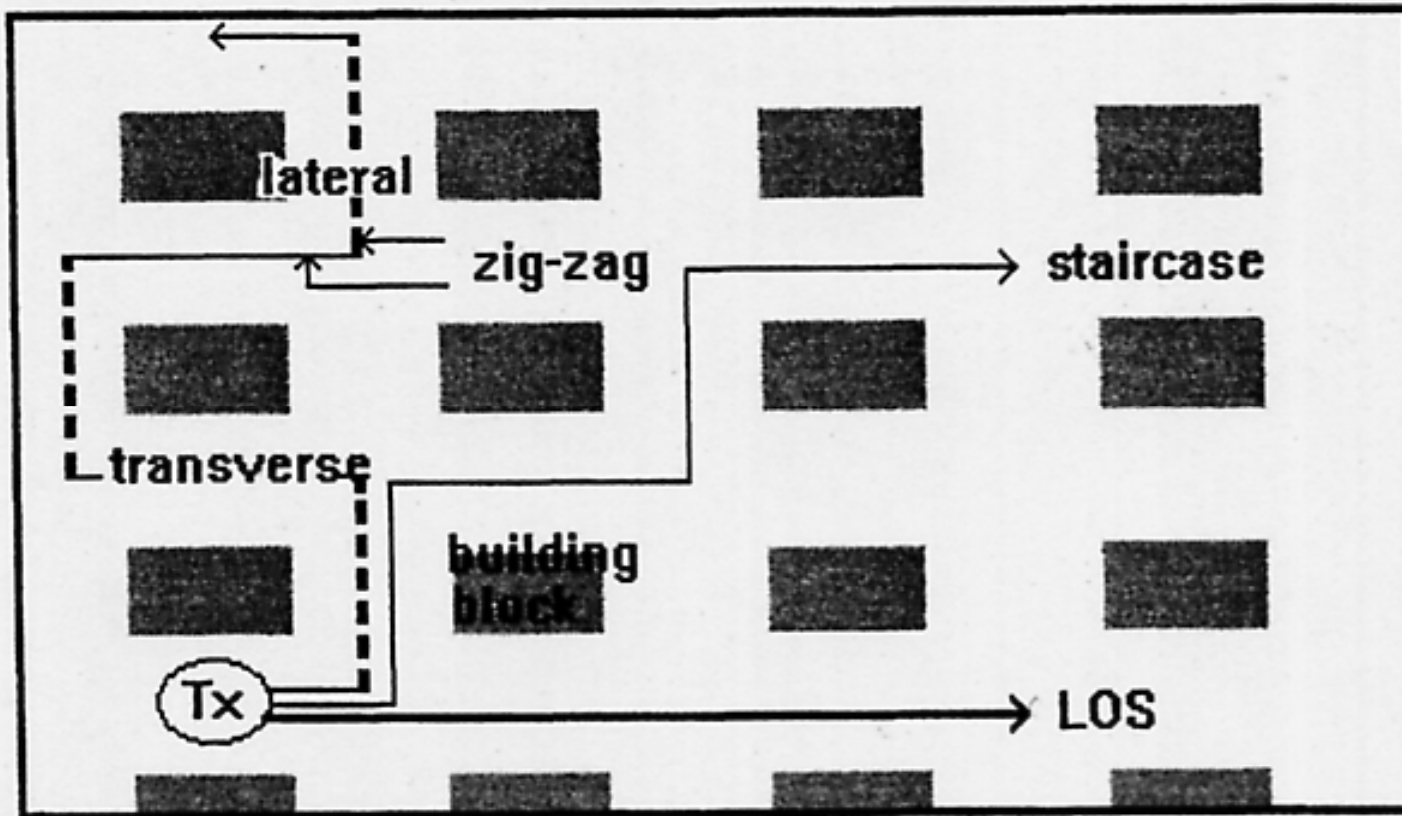
Riduzione dimensioni delle celle in aree urbane → antenne RBS abbassate ad una altezza pari o inferiore agli edifici circostanti.

Per distanze di 1-2 Km in area urbana: grigliato stradale abbastanza regolare, edifici di dimensioni più o meno uniformi, variazioni terreno trascurabili.

Utilizzando antenne di altezza non elevata: la propagazione dipenderà strettamente dalla direzione dalla RBS al ricevitore tenendo conto del percorso che il segnale compie nel grigliato stradale

# Propagazione nelle Microcelle

## SISTEMA CELLULARE CON MICRO-CELLE



**Figure 2-8** Drive routes used for measurements in San Francisco showing LOS, staircase, and zigzag routes, the last of which is divided into transverse and lateral segments [49] (©1999 IEEE).

# **Propagazione nelle Microcelle**

## SISTEMA CELLULARE CON MICRO-CELLE

Micro-celle: centinaia di metri o pochi km

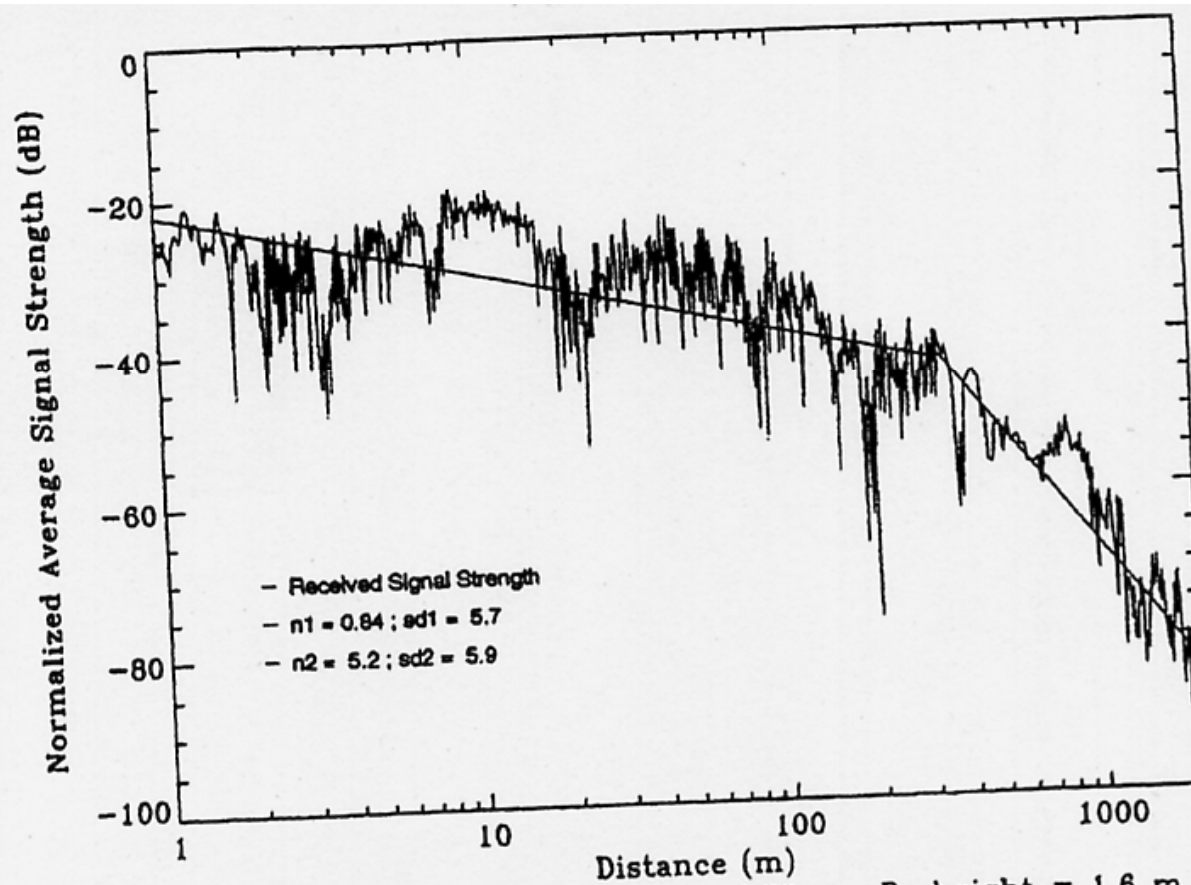
E' fondamentale l'influenza degli edifici sulla propagazione del segnale, strettamente collegata alla loro configurazione.

In una zona piccola gli edifici saranno posti su un piano abbastanza regolare e se il ricevitore si sposta, per esempio, lungo una strada, le condizioni di ricezione possono cambiare in maniera significativa.

Uno spostamento mantenendo la LOS, porterà ad un peggioramento minore rispetto al caso di spostamento in condizioni di NLOS.



# Propagazione nelle Microcelle



Freq. = 1937 MHz, Tx height = 8.70 m, Rx height = 1.6 m

**Figure 2-9** Received signal variation measured along a LOS path in the Mission district of San Francisco at 1937 MHz and a transmitter antenna height of  $h_{BS} = 8.7$  m [15] (©1993 IEEE).

## Propagazione nelle Microcelle

L'angolo di incidenza del raggio sul terreno diminuisce con la distanza dal trasmettitore, ma man mano che la distanza aumenta, le variazioni sono dell'ordine di gradi/frazioni di grado, mentre per piccole distanze dal trasmettitore si può avere una variazione anche di decine di gradi.

Una volta raggiunto l'angolo relativo al break-point (che si trova abbastanza lontano dalla RBS), tale angolo sostanzialmente resta invariato al crescere della distanza e quindi per distanze superiori ad  $R_B$  i due raggi restano in opposizione di fase.

La distanza di break-point dell'andamento, che viene indicata come  $R_B$ , è data da :

$$R_B = \frac{4}{\lambda} \cdot h_{BS} \cdot h_m \cdot 10^{-3} [Km]$$

## Propagazione nelle Microcelle

Per un sistema con  $h_{BS}=10m$ ,  $h_m=1.5m$ ,  $f=900MHz$ :

$$R_B = \frac{4}{0.3} \cdot 10 \cdot 1.5 \cdot 10^{-3} [Km] = 0.2 Km = 200m$$

Entro poche centinaia di metri (fino ad  $R_B$ ) si riceve una potenza abbastanza alta, mentre oltre  $R_B$  la potenza ricevuta scende molto più rapidamente.

I risultati di queste campagne di misure sono una serie di formule, ispirate al modello di Okumura-Hata, con la stessa struttura: attenuazione dipendente da frequenza, distanza, altezza delle stazioni e con valori correttivi in funzione del tipo di configurazione.

## **Propagazione nelle Microcelle**

Sono state effettuate anche misure di segnale per ricevitori posti in percorsi a zig-zag ed a scala rispetto alla linea di vista, sempre al variare della distanza e sempre calcolando la media del segnale ricevuto in piccole zone attorno al ricevitore e si sono ottenute, su scala logaritmica, le curve di best-fitting per i vari casi utilizzando i minimi quadrati.

I risultati mostrano che il segnale più forte si riceve nel caso di collegamento LOS, e che i percorsi laterali (ortogonali rispetto alla via principale su cui è posto il trasmettitore, detta linea di vista) presentano una attenuazione minore dei percorsi perpendicolari (paralleli rispetto alla via principale (linea di vista) su cui è posto il trasmettitore).

I percorsi a scala, infine, presentano una attenuazione simile a quelli a zig-zag perpendicolari.

# Propagazione nelle Microcelle

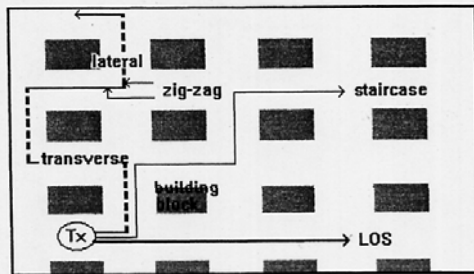
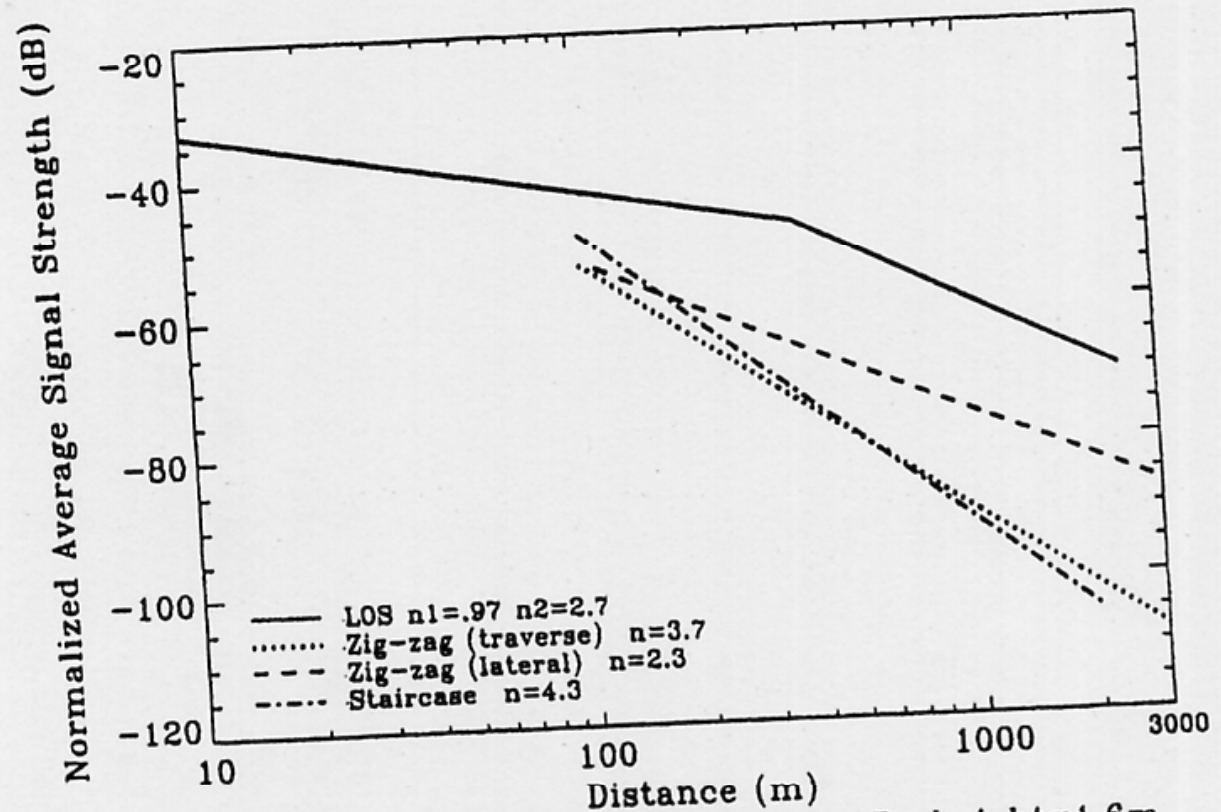


Figure 2-8 Drive routes used for measurements in San Francisco showing LC staircase, and zigzag routes, the last of which is divided into transverse and lateral segments [49] (©1999 IEEE).



Freq=1937MHz, Tx height=8.70m, Rx height=1.6m

Figure 2-10 Regression fits to the small-area average received signal at 1937 MHz for LOS, lateral, transverse and staircase propagation paths in the Sunset district for a transmitter antenna height of 8.7 m [16] (©1994 IEEE).

## Propagazione nelle Microcelle

Per il collegamento NLOS l'attenuazione di cammino è notevolmente più elevata.

I grafici dell'attenuazione sono simili a quelli visti in precedenza per i casi di percorsi a zig-zag e a scalini, ma la dipendenza dell'attenuazione da  $h_{BS}$  e da  $R$  è differente.

In questo caso le regioni in esame sono caratterizzate da edifici di altezza elevata e quindi le RBS sono poste molto al di sotto dei tetti della maggior parte degli edifici, e la propagazione avviene attorno agli edifici piuttosto che sopra di essi.

Per questo tipo di percorsi di propagazione, il parametro fondamentale è la altezza  $h_{BS}$  della RBS dal suolo, e la pendenza delle curve è molto maggiore che nei casi di LOS o di edifici bassi, con valori dell'esponente  $n$  molto maggiori di 4.

## **Propagazione nelle Microcelle**

Una pianificazione del servizio non potrà essere fatta usando il caso LOS, ma il caso NLOS (caso peggiore), andando poi a valutare che nelle direzioni LOS il segnale non arrivi tanto lontano.

L'attenuazione in linea di vista più bassa (il segnale nei percorsi LOS arriva molto più lontano) diventa uno svantaggio e non un vantaggio, limitando il riutilizzo delle frequenze, e quindi la capacità di canale.

Si deve garantire un servizio in tutta la zona, e quindi si devono utilizzare potenze in trasmissione che superino queste attenuazioni.

Si può però ricevere un segnale che, a parità di distanza dal trasmettitore, può essere 10-20 dB più forte.

Per limitare questo problema, si possono utilizzare sulla RBS antenne trasmettenti a settore, con un massimo di irradiazione in un settore angolare ben determinato (ad esempio nella direzione NLOS), e con un minimo di irradiazione nella direzione LOS, per recuperare qualche dB.

## **Propagazione nelle Microcelle**

MACRO-CELLA: distribuzione di edifici aleatoria; formula di Okumura-Hata per valutare le variazioni con la distanza

MICRO-CELLE: diventa importante la configurazione degli edifici e delle strade. Potenza variabile con la distanza con indice  $n$  tra 3 e 4. Si deve distinguere tra propagazione LOS (la potenza si riduce lentamente fino al punto di breakdown e poi scende molto rapidamente) e propagazione NLOS, con decadimento molto più rapido. Si hanno andamenti diversi su strade ortogonali alla linea di vista oppure in direzioni oblique. Attenuazioni molto più consistenti, anche 20 – 30 dB superiori rispetto al caso LOS.